https://doi.org/10.22067/jgrd.2023.79213.1203
مقالهٔ پژوهشی

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال بیست و یکم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲، شمارهٔ پیاپی ۴۳

بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری[۱]

رقیه ملکی مرشت (پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران)

roghayeh.maleki1395@gmail.com

بهروز سبحانی (استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، نویسنده مسئول)

sobhani@uma.ac.ir

صص ۱۹۵ ـ ۱۶۹

چکیده

امواج گرمایی یکی از مخاطرات اقلیمی تأثیرگذار بر جوانب مختلف زندگی بشر است. هدف پژوهش حاضر، بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۳ بود؛ بر این اساس، داده‌های دمای حداکثر ایستگاه اردبیل از سازمان هواشناسی دریافت شد. سپس در محیط نرم‌افزار متلب با اعمال شاخص فومیاکی بر داده‌های دمای حداکثر، روزهایی که دمای آن‌ها ۲+ انحراف معیار یا بیشتر از میانگین NTD بود و حداقل دو روز تداوم داشت، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی تعریف شد. برای بررسی تأثیرپذیری جزیره حرارتی از وقوع امواج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال، جزیره حرارتی برای روزهای توأم با موج گرمایی و یک روز عادی بدون موج گرمایی با کمترین دمای حداکثر

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول (خانم ملکی) در رشته آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

قبل از وقوع هر موج گرمایی در روزهنگام و شب‌هنگام مودیس-آکوا محاسبه شد. طبق نتایج، طی دوره مطالعه‌شده، بیشترین فراوانی سالانه و ماهانه مخاطره موج گرمایی اردبیل، در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱٦ و در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است. همچنین نتایج نشان داد که طی دوره مطالعه‌شده، حداکثر تداوم امواج گرمایی چهارروزه و کوتاه‌مدت بوده است. براساس یافته‌ها، چه در ماه‌های گرم و چه در ماه‌های سرد، در هر دو شرایط، وجود و نبود موج گرمایی اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز اردبیل تشکیل شده است که شدت آن در زمان حاکمیت امواج گرمایی به‌خصوص در ماه‌های گرم سال بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده است. در شب‌های تابستان، در شرایط حاکمیت موج گرمایی تا ٤ درجه سلسیوس نیز افزایش دما در جزیره گرمایی تجربه شده است. درمجموع نتایج نشان داد که میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی از رخداد امواج گرمایی، در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد بوده است.

کلیدواژه‌ها: اردبیل، امواج گرمایی، جزیره حرارتی، فومیاکی.

۱. مقدمه

از نظر آماری، امواج گرمایی نوسان‌های مثبت یا فرین‌های زیاد میانگین دماهای حداکثر روزانه است که روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌ها) در فضاهای جغرافیایی خاصی تداوم دارد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰، ص. ۸۵). امواج گرمایی از مهم‌ترین پدیده‌های آب‌وهوایی است که هرساله پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت بر جای می‌گذارد. کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده، درگرو شناسایی سازوکار امواج گرما، سامانه‌های هواشناسی ایجادکنندهٔ گرما و پیش‌بینی آن‌ها و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهندهٔ آن‌ها بر سلامت عمومی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر است (کواتس و کاپ[1]، ۲۰۰۵؛ هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۱۸٦). دمای سطح زمین (LST)[2] یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک، در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب‌وهوای شهری

1. kovats& kopp
2. Land surface temperature

محسوب می‌شود (کاندلوال[1]، ۲۰۱۷، ص. ۱). یکی از رایج‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است. شدت تشعشع طیفی شناسایی‌شده در ناحیه مادون‌قرمز حرارتی طیف الکترومغناطیس می‌تواند برای تخمین دمای سطح، با استفاده از اعمال قانون پلانک به کار گرفته شود (ونگ[2]، ۲۰۰٤، ص. ٤۰۸۰). دمای بالاتر شهرها در مقایسه با دمای نواحی روستایی، جزیره‌ای از هوای گرم ایجاد می‌کند که به آن «جزیره گرمایی» گفته می‌شود که اغلب در شب‌های آرام و صاف در شهر گسترش می‌یابد (عزیزی،۱۳۸۳، ص. ٤۳٤). جزیره گرمایی با تغییر مؤلفه‌های اقلیمی در شهرها موجب افزایش نسبی دمای شهرها در مقایسه با حومه آن‌ها می‌شود. به‌طورکلی سه مؤلفه اصلی اقلیمی در تقویت یا تضعیف جزیره گرمایی نقش اساسی دارند. این سه مؤلفه عبارت‌اند از: سامانه-های همدیدی، ابرناکی و باد. در شرایط هوای آرام و آسمان بدون ابر تفاوت‌های دمایی میان شهر و روستا افزایش می‌یابد و در صورت وزش باد بیش از سرعت آستانه، شدت جزیره گرمایی کم و درنهایت محو می‌شود؛ بنابراین انتظار می‌رود که در زمان استقرار سامانه‌های واچرخندی، شدت جزیره گرمایی بیش از شرایط چرخندی باشد (لندیسبرگ[3]، ۱۹۸۱، ص. ۲۸). گاهی اختلاف دما بین مناطق شهری و روستایی می‌تواند معکوس شود و جزیره سرمایی شهری (UCI)[4] رخ دهد؛ به عبارت دیگر، وقتی هوای مرکز شهر سردتر از حومه آن باشد، جزیره‌ای از هوای سرد در مرکز شهر ایجاد می‌شود که به آن جزیره سرمایی گفته می‌شود. شدت جزیره سرمایی اغلب به میزان درخور توجهی کمتر از شدت جزیره گرمایی است. برخلاف جزیره گرمایی که در شب ایجاد می‌شود، پدیده جزیره سرمایی همیشه در طول روز و با شدت کمتری رخ می‌دهد و رطوبت سطح، عامل تعیین‌کننده اصلی در جزیره سرمایی شهری محسوب می‌شود (کیم و بایک[5]، ۲۰۰۵، ص. ۵۹۱). شرایط اتمسفری راکد حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس می‌سازد و با اضافه شدن آلاینده‌های سمی به هوای گرم حاصل از موج گرمایی، مشکل زیستی در ابعاد وسیع به وجود می‌آید.

1. Khandelwal
2. Weng
3. Landsberg
4 Urban Cool Island
5. Kim & Baik

همچنین در شب یا در زمستان، وجود هوای سرد در لایه‌های فوقانی جو سبب تثبیت هوای گرم و آلوده لایه‌های زیرین جو می‌شود (الموسائد[1]، ۲۰۱۱، ص. ۱۳۹). امواج گرمایی می‌تواند در مقیاس محلی روی دهد و سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی، مرگ‌ومیر در اثر گرمازدگی، آتش‌سوزی جنگل‌ها شده و خسارات اقتصادی فراوانی به بار آورد (بالدی[2]، ۲۰۰٤؛ صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷، ص. ۳٦).

۲. پیشینه تحقیق

بررسی رابطه امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری طی سال‌های اخیر، مدنظر بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته و در این راستا اغلب در خارج از کشور، مطالعاتی با روش‌های مختلف انجام شده است. در این بخش به چند پژوهش اشاره می‌شود.

فنج[3] و همکاران (۲۰۱٤) به شبیه‌سازی جزیره حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم در شهر هنگزو در چین پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کردند. نتایج نشان داد که جزیره حرارتی عمدتاً حاصل ذخیره گرمایی زیاد در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب است. ویی[4] و همکاران (۲۰۱٤) برای مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گری‌تر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداختند. طبق نتایج پژوهش، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه‌یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه دارد و آب‌های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) احتمال رخداد امواج گرمایی را در نواحی شمالی ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که احتمال رخداد امواج یک تا سه روز در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از بقیه است. دابراوالنی و کراهولا[5] (۲۰۱۵) تغییرات فضایی دمای هوا و شدت شبانه جزیره حرارتی شهر برنو، در جمهوری چک را بررسی کردند. طبق نتایج، شاخص‌های پوشش گیاهی طبیعی (NDVI) و تراکم ساختمان‌ها، مهم‌ترین عوامل توجیه کننده افزایش پنج‌درجه‌ای شدت

1. Almusaed
2. Baldi
3. Feng Xuchao & Weiping
4. Weihe
5. Dobrovolny & Krahula

جزایر حرارتی اوایل شب در تابستان بودند که از مرکز شهر به سمت حومه، از شدت آن کاسته شده است. لیمونسو[1] و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر سناریوی توسعه شهری بر جزیره گرمایی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. براساس نتایج، در شهرهای متراکم با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت‌تأثیر جزیره حرارتی است، آسیب‌پذیری کل جمعیت تشدید می‌شود. حسینی (۲۰۱۶) جزیره گرمایی شهر تهران را بررسی کرد. نتایج نشان داد که این شهر طی روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی داشته است. کمترین میزان جزیره سرمایی ٤- درجه کلوین در ماه مارس و بیشترین مقدار جزیره گرمایی ۳/۹ درجه کلوین در ماه می بود. زهو[2] و همکاران (۲۰۱٦) به ارزیابی فصلی بودن جزیره حرارتی سطحی شهر لندن پرداختند. آنان با روش ترکیبی مشاهدات ماهواره‌ای به مدل‌سازی آب‌وهوای لایه مرزی شهر با استفاده از مدل اقلیم شهر (UrbClim)[3] پرداختند. نتایج نشان داد که مدل اقلیم شهری می‌تواند دمای سطح زمین شهری و روستای و دمای هوای دو متری سطح زمین را به‌طور رضایت‌بخشی بازسازی کند. همچنین تغییرات دمای سطح زمین می‌تواند عمدتاً با تغییرات فصلی تابش دریافتی خورشید در ارتباط باشد.

دی رایدر[4] و همکاران (۲۰۱٦) تشدید جزیره حرارتی شهری در طول رخداد امواج گرمایی در تابستان ۲۰۰۲ در پاریس را بررسی کردند. پژوهش آنان در مرحله اول، براساس دمای مشاهده‌شده از یک منطقه شهری و روستایی انجام شد. نتایج نشان داد که با هر درجه سلسیوس افزایش دما در روز، شدت جزیره حرارتی ۰/۰۸ درجه سلسیوس در شبانه روز افزایش می‌یابد. اعتبارسنجی ابتدا با استفاده از درجه حرارت ذکرشده انجام شد و سپس حساسیت شدت جزیره حرارتی شهری شبانه محاسبه شد. علاوه‌بر دمای روز، این بار با در نظر گرفتن دماهای شبیه‌سازی‌شده حاصل از تراکم ساخت‌وسازهای مرکز پاریس، شدت جزیره حرارتی باعث افزایش ۰/۱ درجه سلسیوس در دمای روزانه شده است. همچنین نتایج تأیید کرد که شدت جزیره حرارتی شهری، در طول رخداد امواج گرمایی افزایش می‌یابد.

1. Lemonsu
2. Zhou
3. Urban Climate Model
4. De Ridder

قبادی و همکاران (۲۰۱۷) به پژوهش درمورد تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی در شهر کرج پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری-سینوپتیکی نشان داد که در روزهای حاکمیت امواج گرمایی، جزیره گرمایی شهری (UHI) در منطقه موردمطالعه تشدید می‌شود و درجه حرارت شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، حدود ۱ درجه سلسیوس در روز و ۲/۵ درجه سلسیوس در شب گرم‌تر است. بای[1] و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با تحلیل مقایسه‌ای به بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی در چند شهر پرداختند. طبق نتایج، در شهرهایی با وسعت یکسان، رابطه متفاوتی بین امواج گرمایی و جزایر حرارتی وجود داشته است. در شهرهای نیویورک، ایالت واشنگتن و بالتیمور در مقایسه با شهرهای کوچک، جزیره حرارتی هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی تقویت شده است. همچنین در شهرهای مختلف، الگوی جزیره حرارتی، تغییرات جزیره حرارتی و ارتباط متقابل آن با امواج گرمایی، به‌طور ذاتی با عوامل دینامیکی در ارتباط است. پاراوانتیس[2] و همکاران (۲۰۱۷) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگ‌ومیر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بیشتر ٦۵ سال، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که همبستگی زیادی بین مرگ‌ومیر روزانه قلبی و عروقی و تنفسی افراد بیشتر از ٦۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. در دمای متوسط مرگ‌ومیر کمتر است، ولی در دماهای بالا و بسیار بالا این مرگ‌ومیرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. درنهایت طبق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، بیشترین میزان مرگ‌ومیر در اثر امواج گرمایی گزارش شده است.

فوندا و سانتاموریس[3] (۲۰۱۷) مشارکت امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آتن را مطالعه کردند. طبق نتایج، در روز حادثه همبستگی قوی بین جزیره حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته است که این امر می‌تواند موجب افزایش چشمگیر خطر گرما در شهرها و آسیب‌پذیری جمعیت شهری گردد. ای-آنل[4] و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های

1. Bai
2. Paravantis
3. Founda & Santamouris
4. A-Añel

آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایی و گرمایی می‌تواند بـه افـزایش نیـاز بـه تولیـد انـرژی مصرفی منجر شود؛ برای مثال، زیادشدن نیاز گیاه به آبی با دمای بالاتر، نمونه‌ای از این مـوارد است. باسارا[1] و همکاران (۲۰۱۸) تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری، طی رخداد موج گرمایی شدید در شهر اوکلاهما را بررسی کردند. نتایج نشان داد که طی حاکمیت امواج گرمایی، یک جزیره حرارتی در مرکز شهر ایجاد شده است. روهینی[2] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی امـواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امـواج گرمـایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرد. فرون و همکاران[3] (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آنان از پنج مـدل CMIP5 تحـت دو سـناریوی RCP ٤/٥ و ٨/٥ اسـتفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسـامبر، ژانویـه و فوریه دو برابر شده است.

مجرد و همکاران (١٣٩٤) به بررسی آماری-همدیدی دمای بیشتر از ٤٠ درجـه سلسـیوس در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد هوای گرم و خشـک عربسـتان و شـمال عراق و نیز پرارتفاع آزور در رخداد امواج گرمایی غرب ایران مؤثر است. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک شاخص فومیاکی و با استفاده از مدل CMIP5 به بررسی اثر تغییر اقلـیم بـر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فـارس پرداختنـد. نتـایج نشـان داده کـه امـواج گرمـایی کوتاه‌مدت رخداد بیشتری دارد و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیـر افـزایش یافتـه است. خوشید دوست و همکاران (١٣٩٦) به بررسی همدیدی امواج گرمایی در شـمال غـرب ایران پرداختند. براساس نتایج، با قرار گرفتن پشـته حاصـل از مراکـز واچرخنـدی روی نیمـه غربی ایران در روز اوج گرفتن موج گرما و با همگرا شدن هوا، فرونشینی و نشست هوا و در نهایت گرم شدن آن به صورت آدیاباتیـک رخ داده اسـت. کـرم‌پـور و همکـاران (١٣٩٦) بـه شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ۷۰ مـوج در دوره گرم و ۷۳ موج در دوره سرد رخ داده است و بیشترین میزان وقوع امواج گرمـایی در ماه فروردین بوده و امواج کوتاه رخداد بیشتری داشته است. کاشـکی و همکـاران (۱۳۹۸) بـه

1. Basara
2. Rohini
3. Feron

واکاوی آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. نتایج نشـان داد کـه در منطقـه موردمطالعـه آنـان موج‌های گرمایی کم‌دوام رخداد بیشتری داشته و امواج گرمایی پرتداوم کمتـر رخ داده اسـت. همچنین امواج گرمایی به‌عنوان یکی از مخاطرات آب و هوایی در دوره آماری روند افزایشـی داشته است. شجاعی‌زاده و همکاران (۱٤۰۰) به بررسی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتـی شهر آبادان با استفاده از داده‌های مودیس- آکوا پرداختند. یافته‌ها نشان داد که جزایر حرارتـی در آبادان دارای نوسانات مکانی و زمانی مشخص و مقدار دمای سطحی در فصل گـرم بیشـتر است. دمـای بالـا در زمین‌هـای بـایر بـه علـت انعکاس زیاد تشعشعات حرارتی ساطع‌شده از خورشید به لحاظ وجود قشری از نمک در سطح زمین و در محـــدوده صـــنعتی بـــه علـــت سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای آلاینده است که باعـث اثـر گلخانـه‌ای، تشـدید گرما و درنهایت تراکم زیاد جزایر حرارتی و تشدید اثرات امواج گرمایی می‌شود.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که در پژوهش‌های داخلی موج گرمایی و جزیره حرارتی شهری اغلب به‌صورت مجزا مطالعه شده‌اند، اما در پژوهش‌های خارجی این دو مخاطره اغلب در ارتباط با هم بررسی شـده‌انـد؛ بنـابراین مطالعـه رابطـه ایـن دو پدیـده بـه‌عنـوان یکـی از موضوعات جدید، به‌خصوص در شهر اردبیل که یکی از شهرهای توریستی کشور است، برای کاهش آثار منفی ناشی از افزایش دما بر اقتصاد کشـور و محـیط‌زیسـت و همچنـین مـدیریت بحران، ضروری به نظر می‌رسد؛ چراکه افزایش مداوم دمای شهرها با عنـوان جزیـره حرارتـی شهری و رخداد ناگهانی امواج گرمایی بـه‌عنـوان یکـی از مخـاطرات مهـم اقلیمـی، از جملـه نگرانی‌های مهم سیاست‌گزاران مدیریت شهری در شهرها است و رخـداد هـم زمـان ایـن دو پدیده و تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر می‌تواند سبب تشدید گرمای مرکز شهر شـود؛ درنتیجـه خسارات زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال داشته باشد؛ به‌عنـوان‌مثـال، افـزایش مرگ‌ومیـر در تهران طی ۱۷ موج گرمایی به فوت ۱۰٦۹ نفر منجر شده است؛ یعنی به ازای هر موج گرمایی ۹ نفر فوت کرده‌اند و نرخ مرگ‌ومیر ۳ تا ۹ درصد افزایش یافته است؛ به عبارت دیگر افزایش دما سبب افزایش آلودگی هوا و زیادشدن نرخ مرگ‌ومیر شده اسـت (احمـدزاده و همکـاران، ۲۰۱۷، ص. ۲٤). طبق توضیحات، در پژوهش حاضر سعی شده است به بررسی موج‌های گرم شهر اردبیل و نقش آن در گرمایش شهری و تشدید جزایر حرارتی در فصول گرم و سرد سال

طی سال‌های ۲۰۱۸–۲۰۰۳ پرداخته شود تا با شناسایی رفتار و ارتباط دو مخاطره موج گرمایی و جزیره حرارتی، بتوان راهکارهای لازم را برای مدیریت بحران ارائه کرد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

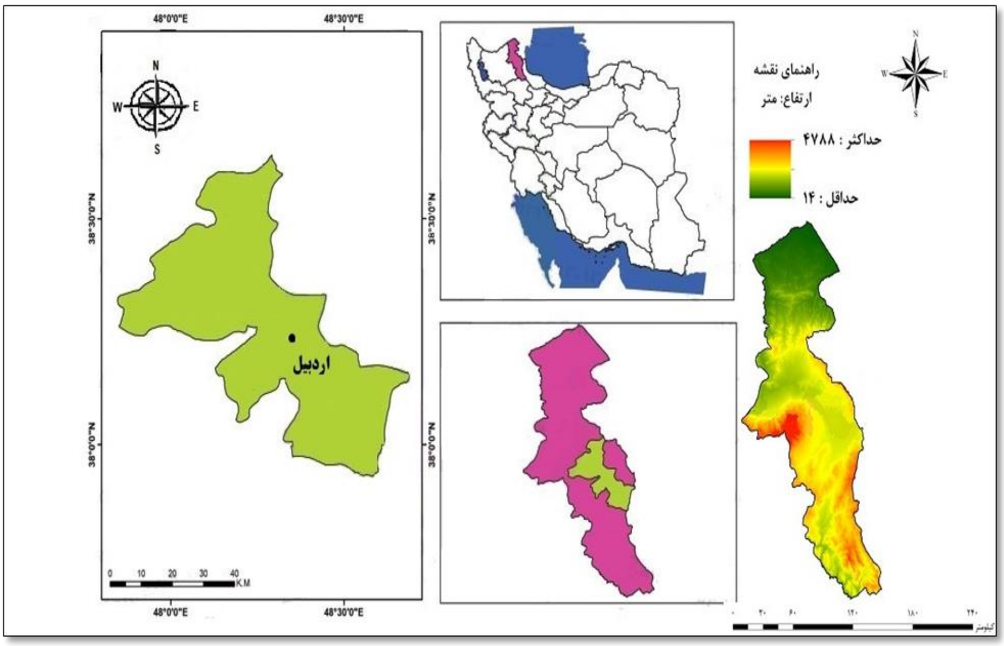
۳. ۱. منطقهٔ موردمطالعه

در پژوهش حاضر، شهر اردبیل که مرکز استان اردبیل است، برای بررسی انتخاب شد. در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و در شکل ۱ محدوده این شهر ارائه شده است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه اردبیل

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱٤۰۰

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
اردبیل	٤٦º ۳′	۳۸º ۲′	۱۳۳۵



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل

مأخذ: نگارندگان، ۱٤۰۰

۳. ۲. روش شناسایی روزهای توأم با امواج گرمایی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸

برای شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه ایستگاه اردبیل مطالعه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و با کمک شاخص فومیاکی[1] و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب، روزهایی که دست کم دو روز تداوم داشته و دمای آن‌ها بیشتر از ۲+ انحراف معیار یا بیشتر از میانگین (NTD[2]) بود، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی و انتخاب شدند. به‌منظور محاسبه این نمایه، نخست میانگین بلندمدت دما برای هریک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین بلند مدت دماهای هر روز با رابطه (۱) به‌دست می‌آید (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰، ص. ۱۷۳؛ اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ٤۳).

رابطه (۱)

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i,j,n) \div N$$

در این رابطه، $T(i,j,n)$ دمای روز i ام از ماه j ام در سال n ام $\overline{T(i,j)}$ میانگین بلندمدت دمای روز i ام، از ماه j ام است. برای از بین بردن نوفه‌های (نویز[3]) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار روی این داده‌ها انجام شد؛ به این ترتیب، میانگین بلندمدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه آن محاسبه شد؛ به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است؛ درنتیجه آثار عوامل زود گذر محلی که موجب نوسان دما شده‌اند، حذف شده و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس به کمک رابطه (۲)، انحراف دمای هریک از روزهای بررسی‌شده نسبت به میانگین

1. Fumiaki
2. Normalized Thermal Deviation
3 Noise

بلندمدت محاسبه شد (فوجیبی[1] و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ٦٥؛ اسماعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ٤٣).

رابطه (۲)

$$\Delta T = (i,j,n) = T(i,j,n) - T(I,J)$$

در رابطه بالا، $\Delta T=(i, j, n)$ انحراف مطلق دما از میانگین بلندمدت در روز j ام از ماه i ام، در سال nام نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز تقویمی است. برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در زمانی معین با یکدیگر قابل‌مقایسه باشد، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش ΔT در ۳۱ روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه (۳) به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد.

رابطه (۳)

$$\overline{\sigma^{2(i,j)}} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j-16}^{j+16} \left[\Delta T(i,j',n) - \overline{\Delta T(i,j',n)}\right]^2 \div 31N$$

مقدار $\overline{\Delta T(i,j)}$ میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است که از رابطه (٤) به دست آمد.

رابطه (٤)

$$\overline{\Delta T * (i,j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=j-16}^{j+16} T(i,j',n) \div 31N$$

سرانجام نمایه فومیاکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD) با استفاده از رابطه (٥) محاسبه شد.

رابطه (٥)

$$x(i,j,n) = \Delta T(i,j,n) \div \overline{\sigma(i,j)}$$

1. Fujibe

که در این رابطه $\overline{\sigma(i,j)} = \sqrt{\overline{\sigma^2(i,j)}}$ است؛ بنابراین تعریف موج گرم در این پژوهش این‌گونه بیان می‌شود که هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بیشتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم؛ به‌عبارتی اگر NTD (i) معرف دمای بهنجارشده روز i ام باشد (رابطه ٦)، آنگاه موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ٤٣).

رابطه (٦)

$$NTD(i), NTD(i+1), \ldots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2$$

سپس برای راستی‌آزمایی عملکرد شاخص فومیاکی و به‌منظور اطمینان از حاکمیت موج گرمایی در روزهای شناسایی‌شده توسط شاخص مذکور، به تحلیل سینوپتیکی موج گرمایی دو روزه (پنجم و ششم مارس ۲۰۰٤) پرداخته شد.

۳. ۳. روش محاسبه جزیره حرارتی سطحی شهر با استفاده از داده‌های مودیس-آکوا

به‌منظور بررسی شدت جزیره حرارتی در کلان‌شهر اردبیل در روزهای توأم با موج گرمایی (بدون ابر)، داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس[1]-آکوا برای روزهنگام ساعت ۱۵:۲٤–۱۳:۳۸ و شب‌هنگام ساعت ۰۳:۵۳–۰۲:۳۱، از وب‌سایت ناسا[2] با تفکیک مکانی اسمی ۱×۱ کیلومتر و تفکیک واقعی ۹۲٦ متر (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸، ص. ۷۵) در سیستم تصویری سینوسی به‌صورت روزانه طی دوره آماری موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳) دریافت شد. MODIS یا اسپکترو رادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که روی ماهواره آکوا (EOS PM) راه‌اندازی در ماه مه ۲۰۰۲، نصب شده است. MODIS داده‌ها را در ۳٦ باند طیفی با عبور از بالای خط استوا در حوالی ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ بر ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. اعتبارسنجی در سطح ۳ برای تمام محصولات بازتابندگی سطح مادیس انجام شده است. MOD11_A2 و MYD11_A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی هشت‌روزه در سطح ۳، تشکیل‌شده از محصول LST روزانه ۱ کیلومتر مادیس

1. MODIS
2. Nasa

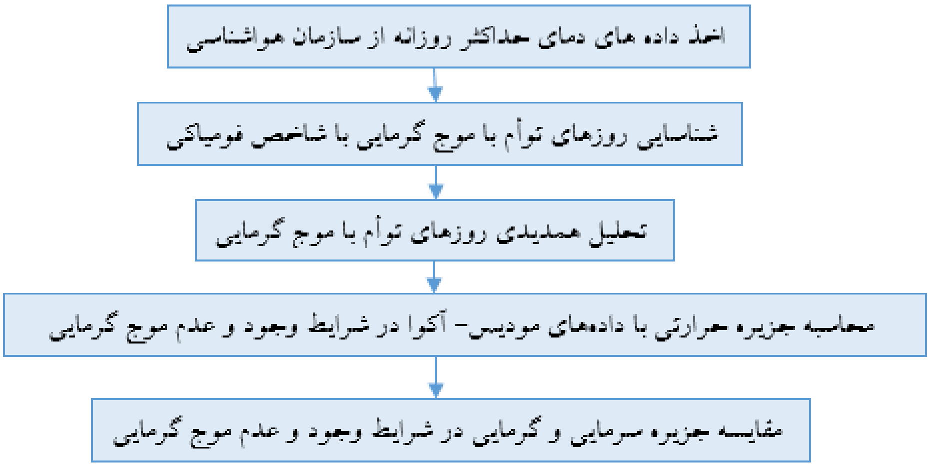
(MOD11A1 و MYD11A1) است و روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به‌عنوان مقدار متوسط (LSTs) در آسمان صاف در طول ۸ روز در طول روز و شب (۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای مودیس آکوا) ذخیره شده است (لازارینی[1]، ۲۰۱۳، ص. ۱۳۶). برداشت‌های مودیس آکوا به این دلیل انتخاب شدند که نسبت به مودیس ترا به ساعات میانه روز و میانه شب (مقادیر فرین روزانه) نزدیک‌تر بودند. برای تأیید درستی نتایج تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت باد و رطوبت نسبی در روزهای موردمطالعه، از سایت سازمان هواشناسی دریافت و واکاوی شد. معمولاً به‌منظور بررسی جزیره حرارتی سطحی، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری با مناطق غیرشهری یا روستایی استفاده می‌شود؛ بااین‌حال، تمایز میان مناطق شهری و غیرشهری هنوز متنوع است. علاوه‌بر شاخص SUHI که تفاوت دمای سطح مناطق شهری با غیرشهری را اندازه‌گیری می‌کند، بسته به کاربری غالب اطراف شهر، شاخص‌های دیگری ازجمله تفاوت دمای سطح مناطق شهری-کشاورزی و شهری-آب نیز استفاده شده است. در پژوهش حاضر، جزیره حرارتی با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد.

رابطه (۷)

$$SUHI = MLST_{urban} - FLST_{rural}$$

که در رابطه (۷)، SUHI جزیره گرمایی رویه زمین، MLST urban میانگین دمای رویه زمین در منطقه شهری و FLST rural دمای رویه زمین با بیشترین فراوانی رخداد در منطقه روستایی است. به‌منظور مطالعه نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ٤٧۹). در مرحله بعد، برای بررسی میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری از رخداد امواج گرمایی، مقادیر جزیره حرارتی در روزهای حاکمیت امواج گرمایی و یک روز عادی (بدون موج گرمایی) با کمترین دمای حداکثر، به فاصله حداکثر دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی محاسبه شد و شدت جزیره حرارتی در دو شرایط متفاوت (وجود و عدم موج گرمایی) مقایسه شد. برای ارائه ملموس‌تر روش پژوهش، فلوچارت تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.

1. Lazarini



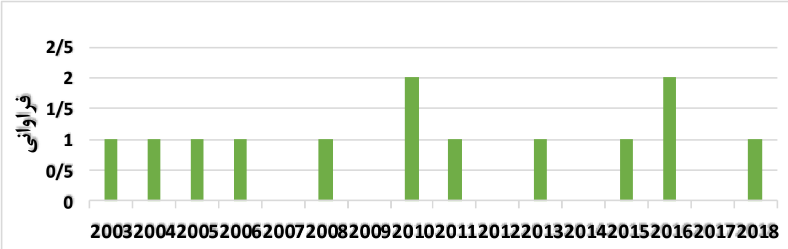
شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق

مأخذ: نگارندگان، ۱٤۰۰

٤. یافته‌های تحقیق

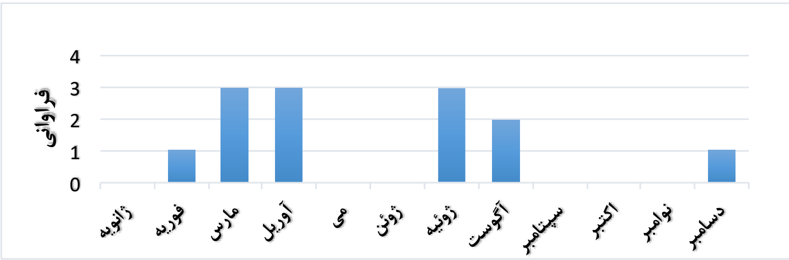
٤. ۱. توزیع زمانی امواج گرمایی شهر اردبیل

با اعمال شاخص فومیاکی، امواج گرمایی شهر اردبیل شناسایی و به دو دسته امواج کوتاه‌مدت و امواج بلندمدت تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین دو تا پنج روزه، امواج گرمایی کوتاه‌مدت و امواج با تداوم شش‌روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلندمدت نام‌گذاری شدند). طبق نتایج حاصل، طی دوره موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳)، بیشترین فراوانی مخاطره موج گرمایی در این شهر در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱٦ بوده است (شکل ۳). در این شهر بیشترین فراوانی رخداد این مخاطره در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است (شکل ٤). از نظر تداوم، طی ۱٦ سال موردمطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل چهارروزه و بنابراین کوتاه‌مدت بوده است (شکل ۵).



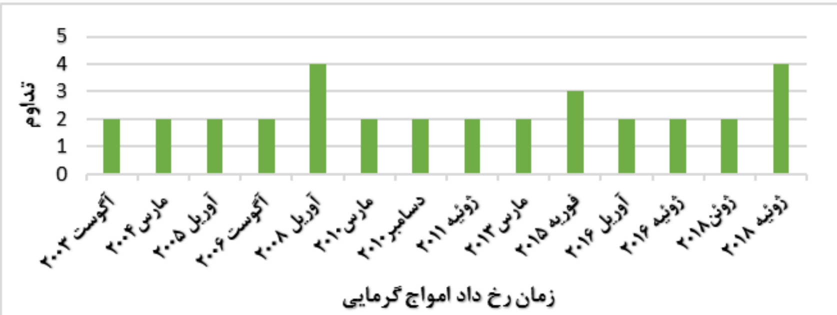
شکل ۳. فراوانی سالانه موج گرمایی در ایستگاه اردبیل موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰



شکل ٤. فراوانی ماهانه امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل طی دوره موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳)

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰

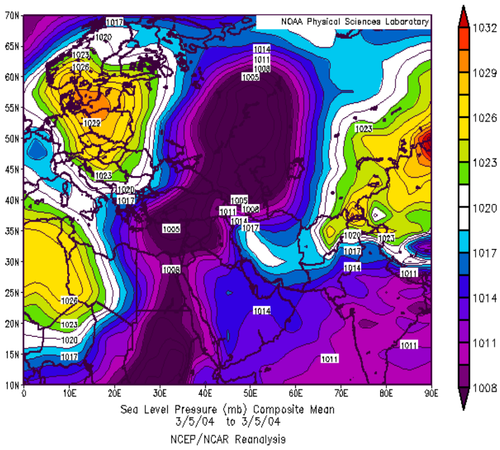


شکل ۵. زمان و تداوم امواج گرمایی در ایستگاه اردبیل طی دوره موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳)

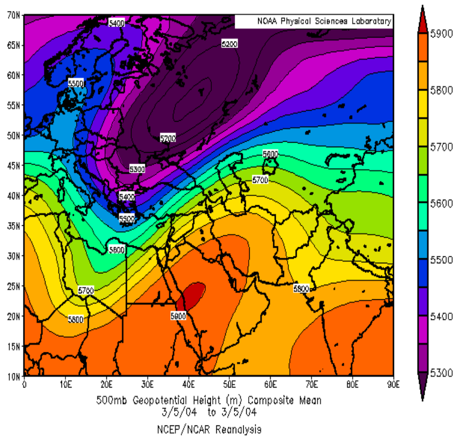
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰

٤. ۲. یافته‌های تحلیل همدیدی موج گرمایی رخداده در پنجم و ششم مارس ۲۰۰٤

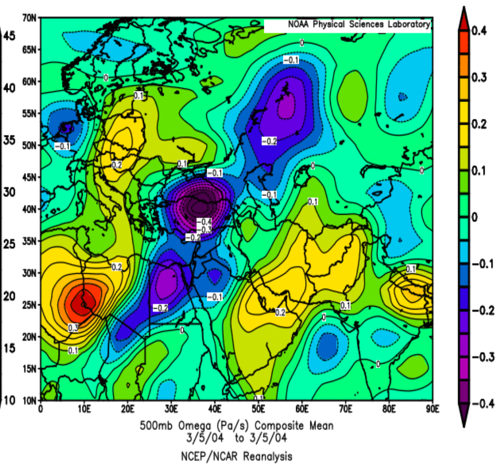
به‌منظور بررسی همدیدی امواج گرمایی دو روزه در اردبیل، نقشه فشار سطح دریا (SLP) (الف) و نقشه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (HGT) (ب) که نقشه‌های پایه و اصلی محسوب می‌شوند و همچنین نقشه‌های امگا (ج) و باد (د)، به‌عنوان نقشه‌های شاهد در روزهایی مدنظر از سایت نووا (NOAA) دریافت شد. طبق نتایج، در روزهای پنجم و ششم مارس ۲۰۰٤، شهر اردبیل زیر سلطه مرکز پرفشار قرار داشت. نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال نشانگر حرکت فراز مانع از نوع حلقه آتش به سمت ایران است که در روز ششم مارس در جنوب کشور قرار گرفت؛ درنتیجه با جریان هوای گرم و خشک بیابان‌های عربستان و شمال آفریقا، در این روز، دما در منطقه موردمطالعه به اوج خود رسیده است و گردش ساعت‌گرد هوا در زیر فراز، موجب مکش هوای گرم عرض‌های جنوبی و درنتیجه سبب تداوم پایداری جو و شرایط خشک و نیز گرمایش سطح زمین شده است. بررسی نقشه‌های جهت باد در شهر موردمطالعه نشان داد که از روز نخست تا روز پایانی باد غربی تا جنوب غربی در منطقه جریان داشته که سبب افزایش ورود بادهای گرم به منطقه شده است. همچنین براساس نقشه امگا و با توجه به مثبت بودن امگا، نزول هوا و افزایش فشار و دما و وقوع موج گرمایی در شهر اردبیل طی روزهای پنجم و ششم مارس تأیید شد (شکل ٦ و ۷).



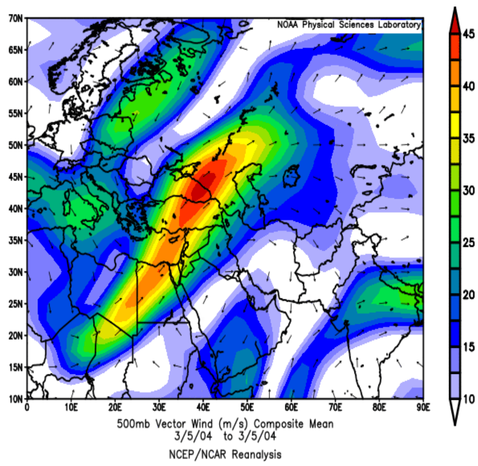
الف. نقشه فشار سطح دریا



ب. نقشه ارتفاع سطح **۵۰۰mb**



ج. نقشه امگا سطح **۵۰۰mb**

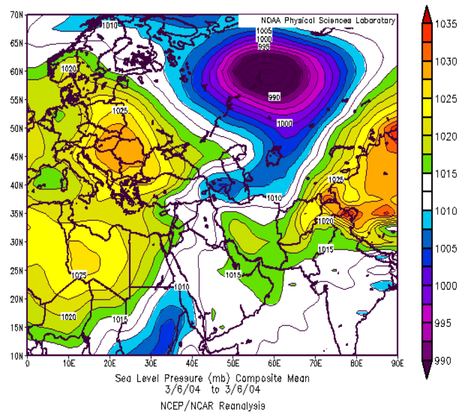


د. نقشه جهت باد **۵۰۰mb**

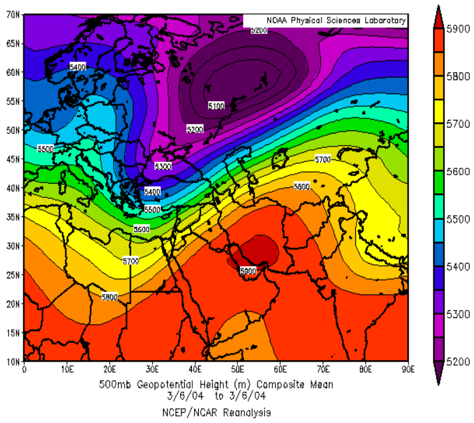
شکل ٦. نقشه‌های فشار، ارتفاع، امگا و جهت باد در روز پنجم مارس ۲۰۰٤ (سایت نوا (NOAA))

مأخذ: سایت نوا[1]، ۱٤۰۰

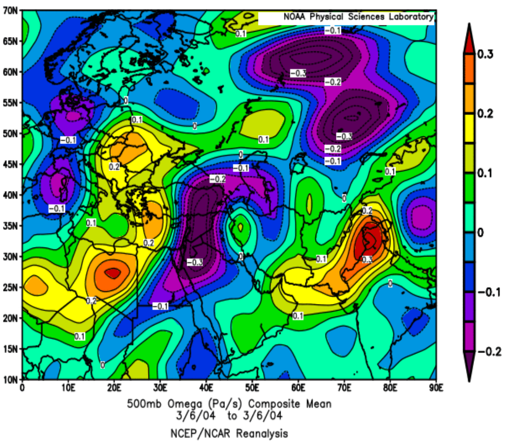
1. NOAA



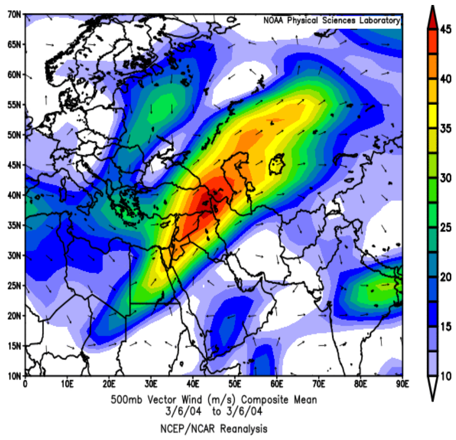
الف. نقشه فشار سطح دریا



ب. نقشه ارتفاع سطح ۵۰۰mb



ج. نقشه امگا سطح ۵۰۰mb



د. نقشه جهت باد ۵۰۰mb

شکل ۷. نقشه‌های فشار، ارتفاع، امگا و جهت باد در روز ششم مارس ۲۰۰٤

مأخذ: سایت نوا، ۱٤۰۰

٤. ۳. یافته‌های حاصل از مقایسه جزیره حرارتی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی

از مقایسه مقادیر جزیره حرارتی در روزهای توأم با موج گرمایی (HW[1]) و روز عادی بدون موج گرما (NHW[2]) با پایین‌ترین دمای حداکثر قبل از وقوع هر موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال، نتایجی حاصل شد که در جدول ۲ ارائه شده است. در جدول مذکور،

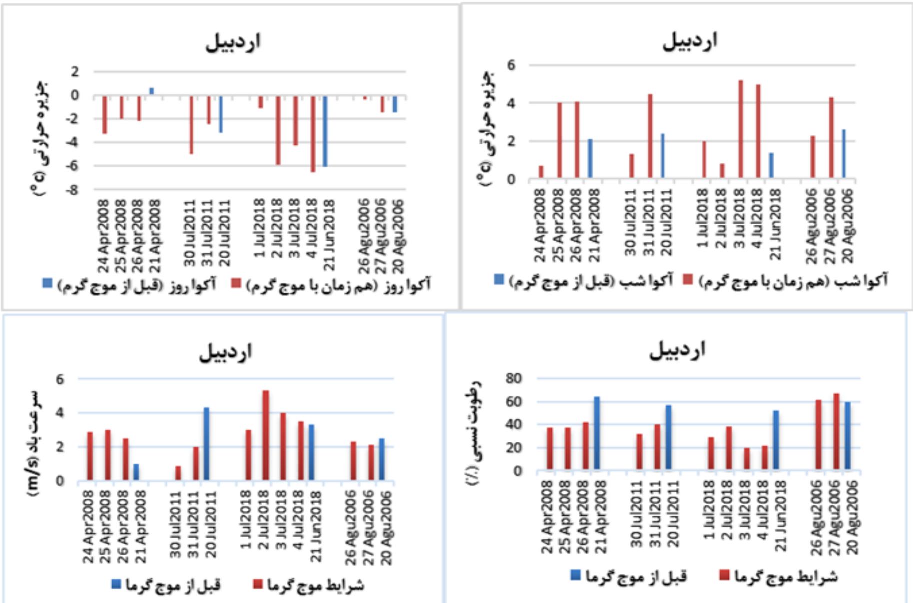
1. Heat wave
2. No Heat wave

ارقام مثبت حاصل از محاسبه اختلاف دمای رویه زمین در مناطق شهری و غیر شهری نشـانگر تشکیل جزیره گرمایی شهری و ارقام منفی نمایانگر جزیـره سـرمایی شـهری در مرکـز شـهر اردبیل است. همچنین برای مقایسه ملموس‌تر شدت جزیره حرارتی، باد و رطوبـت نسـبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد، پارامترهای مذکور در قالب نمـودار در اشکال ۸ و ۹ ارائه شده‌اند. طبق جدول و نمودارهای عنوان‌شده، چه در شرایط عادی و چه هم‌زمان با امواج گرمایی، در ماه‌های گرم و سرد سال، اغلب در روز هنگام، دمای مرکـز شـهر اردبیل از دمای مناطق غیرشهری اطراف آن کمتر ولی در شب‌هنگام بیشتر بوده است؛ بنـابراین اغلب در روز، جزیره سرمایی و در شب، جزیره گرمایی در مرکز این شهر ایجاد شـده اسـت. وضعیت مذکور در زمان وقوع امواج گرمایی کوتاه‌مدت دوروزه نیز مشاهده شد. طبق جـدول ۲ و شکل ۸ در ماه‌های سرد، درصد رطوبت نسبی در زمـان رخـداد امـواج گرمـایی کمتـر از شرایط قبل از موج گرمایی بوده است. بررسی شدت جزیره حرارتی در این شهر نشان داد که در روزهنگام در هر دو شرایط (وجود و نبود موج گرمـایی) جزیـره سـرمایی در مرکـز شـهر تشکیل شده است که در شرایط حاکمیت موج گرمایی به شدت جزیره سرمایی در مقایسه بـا روز عادی افزوده شده است؛ همچنان که در نمودار مشاهده مـی‌شـود. در شـب‌هنگام چـه در شرایط عادی و چه در شرایط رخداد امواج گرمـایی، جزیـره گرمـایی در مرکـز شـهر اردبیـل تشکیل شده که البته شدت جزایر گرمایی شبانه اغلب در زمان حاکمیت موج گرمایی کمتر از شرایط عادی بوده است. بررسی وضعیت جزیره حرارتی در ماه‌های گـرم سـال (جـدول ۲ و شکل ۹) نشان داد که در روزهنگام در هر دو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، در مرکز شهر جزیره سرمایی وجود داشته که شدت آن در زمان حاکمیت امواج گرمایی به‌خصوص در مـاه-های مربوط به فصل تابستان اغلب به‌طور محسوس بیشتر از شرایط بدون موج گرمـایی بـوده است. در شب‌هنگام اغلب جزیره گرمایی در مرکز شهر تشکیل شـده کـه شـدت آن بیشـتر از وضعیت عادی بوده است و در شرایط حاکمیت موج گرمایی حتی تا ٤ درجه سلسـیوس نیـز افزایش دما در جزیره گرمایی تجربه شده است (ژوئیه ۲۰۱۸). همچنین در شرایط موج گرمـا، رطوبت نسبی در ماه‌های گرم، محسوس‌تر از ماه‌های سرد کاهش یافته است.



شکل ۸. جزیره حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های سرد

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰



شکل ۹. جزیره حرارتی، باد و رطوبت نسبی در شرایط وجود و نبود موج گرمایی در ماه‌های گرم

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰

جدول ۲. جزیره حرارتی محاسبه‌شده در ماه‌های سرد و گرم در شرایط وجود و نبود موج گرمایی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

پارامترهای بررسی‌شده وجود و نبود موج گرمایی		حداکثر دما (°C)	جهت باد	سرعت باد m/s	رطوبت نسبی (٪)	جزیره حرارتی سطحی شهر اردبیل (SUHI)(°C) مودیس-آکوا روز (۱۳:۱۵-۲۴:۱۳:۳۸)	شب (۲:۵۳:۳-۳۱:۲)
ماه‌های سرد سال							
HW	۱ دسامبر ۲۰۰۸	۲۱	S	۱/٦	۱۵	-۲/٦	۳/۷
	۲ دسامبر ۲۰۰۸	۲۰/٤	SW	۱/۱	۲۷	-۳/٥	۱/۸
NHW	۲۱ نوامبر ۲۰۰۸	۱۷/٤	NE	۱/۱	٥٥	-۳	٤/۲
ماه‌های گرم سال							
HW	۲٤ آوریل ۲۰۰۸	۲۹/٦	SW	۲/۹	۳۷	-۳/۳	۰/۷
	۲٥ آوریل ۲۰۰۸	۳۰	SW	۳	۳۷	-۲	٤
	۲٦ آوریل ۲۰۰۸	۳۱	E	۲/٥	٤۲	-۲/۲	٤/۱
NHW	۲۱ آوریل ۲۰۰۸	۱۹/٦	E	۱	٦٤	-۰/٦	۲/۱
HW	۳۰ ژوئیه ۲۰۱۱	۳٤/٦	NE	۰/۹	۳۲	-٥	۱/۳
	۳۱ ژوئیه ۲۰۱۱	۳۷/۲	NE	۲	٤۰	-۲/٥	٤/٥
HW	۲۰ ژوئیه ۲۰۱۱	۲۷	NE	٤/۱	٥۷	-۳/۲	۲/٤
HW	۱ ژوئیه ۲۰۱۸	۳٦/۳	NE	۳	۲۹	-۱/۱	۲
	۲ ژوئیه ۲۰۱۸	۳٤/۸	NE	٥/۳	۳۸	-٥/۹	۰/۸
	۳ ژوئیه ۲۰۱۸	۳٦	E	٤	۲۰	-٤/۳	٥/۲
	٤ ژوئیه ۲۰۱۸	۳۳/۲	E	۳/٥	۲۲	-٦/٥	٥
NHW	۲۱ ژوئن ۲۰۱۸	۲۲/۷	NE	۳/۳	٥۲	-٦/۱	۱/٤
HW	۲٦ اوت ۲۰۰٦	۳٤/٦	E	۲/۱	٦۱	-۰/٤	۲/۳
	۲۷ اوت ۲۰۰٦	۳٤	E	۲/۱	٦۷	-۱/٥	٤/۳
NHW	۲۰ اوت ۲۰۰٦	۲۸/٦	E	۲/٥	٦۰	-۱/٥	۲/٦

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به دلیل نقش مؤثر پارامتر دما در اقلیم شهری، بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری، طی سال‌های اخیر مدنظر بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است؛ البته در اغلب

پژوهش‌ها به‌ویژه در پژوهش‌های داخلی، این دو پدیده به‌صورت جداگانه و نه در ارتباط با هم، واکاوی شده‌اند و در این زمینه از روش‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده شده است. همچنین بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه در مناطق گرمسیر کشور صورت گرفته است. تفاوتی که پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین داشت، این بود که در پژوهش حاضر، دو پدیده موج گرمایی و جزیره حرارتی شهری در ارتباط با هم و در شهر اردبیل به‌عنوان یکی از مناطق سردسیر کشور بررسی شدند تا مشخص شود که طی سال‌های اخیر موج‌های گرم و نقش آن در گرمایش این شهر چگونه بوده است.

طبق نتایج حاصل، امواج گرمایی طی دوره موردمطالعه (۲۰۱۸–۲۰۰۳) هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد سال تجربه شده است که بیشترین فراوانی سالانه و ماهانه این مخاطره در شهر اردبیل در طول دوره آماری موردمطالعه، در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱٦ و در ماه‌های مارس، آوریل و ژوئیه بوده است؛ بنابراین احتمال وقوع موج گرمایی در این شهر، در بهار و اواخر تابستان بیشتر است. نتایج همچنین نشان داد که طی دوره موردمطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی، چهارروزه و بنابراین کوتاه‌مدت بوده است. نتایج این بخش با یافته‌های مطالعات مولودی و همکاران (۱۳۹۵)، کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) و کرم‌پور و همکاران که عنوان کردند طی سال‌های اخیر امواج گرمایی با تداوم کمتر، تکرار و فراوانی بیشتری به‌ویژه در فصل بهار داشته است، همسو بود، اما با یافته‌های پژوهش روهینی و همکاران (۲۰۱۹) که اظهار کردند طی سال‌های اخیر امواج گرمایی بلندمدت افزایش یافته است، همخوانی نداشت.

نتایج تحلیل همدیدی که به‌منظور تشریح شرایط سینوپتیک حاکم در زمان وقوع موج گرما و راستی‌آزمایی عملکرد شاخص فومیاکی (Fumiaki) انجام شد، حاکی از استقرار پرارتفاع آزور، همگرا شدن هوا، فرونشینی و گرمایش آدیاباتیک هوا مکش هوای گرم و خشک عربستان و شمال عراق در روزهای حاکمیت موج گرما بود که با یافته‌های مطالعات مجرد و همکاران (۱۳۹٤) و خورشیددوست و همکاران (۱۳۹٦) مطابقت داشت. براساس یافته‌های حاصل از بررسی رابطه موج گرمایی و جزیره حرارتی، چه در ماه‌های گرم و چه در ماه‌های سرد، در هر دو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز شهر اردبیل تشکیل شده است که شدت جزیره سرمایی و گرمایی در

زمان حاکمیت امواج گرمایی به‌خصوص در ماه‌های گرم سال بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده است؛ به‌طوری‌که در شب‌های تابستان، در شرایط حاکمیت موج گرمایی تا ٤ درجه سلسیوس نیز افزایش دما در جزیره گرمایی شهر اردبیل تجربه شده است؛ به‌عنوان نمونه، در دوره گرم سال در شرایط حاکمیت موج گرمایی در روز چهارم ژوئیه ۲۰۱۸، جزیره سرمایی روزهنگام، ٦/٥- درجه سلسیوس و جزیره گرمایی شب‌هنگام، ٥ درجه سلسیوس بوده است؛ درحالی‌که در شرایط نبود موج گرمایی، مقادیر جزایر سرمایی و گرمایی به‌ترتیب ٦/١- و ١/٤ درجه سلسیوس بوده است. در دوره سرد سال در زمان حاکمیت موج گرمایی در یکم دسامبر ۲۰۰۸، مقادیر جزیره سرمایی روزهنگام و جزیره گرمایی شب‌هنگام به‌ترتیب ۲/٦- و ۳/۸ درجه سلسیوس بوده است؛ درحالی‌که در شرایط نبود موج گرمایی جزیره سرمایی ۳- و جزیره گرمایی ٤/۲ درجه سلسیوس بوده است؛ بنابراین میزان تأثیرپذیری جزیره حرارتی از وقوع امواج گرمایی، در ماه‌های گرم محسوس‌تر بوده است. نتایج این بخش نیز از لحاظ تأیید وجود رابطه بین موج گرمایی و جزیره حرارتی و تشدید جزایر حرارتی در زمان حاکمیت امواج گرمایی، در مطالعات بیشتر پژوهشگران داخلی و خارجی تأیید شده است؛ ازجمله مطالعات حسینی (۲۰۱۷)، دی رایدر و همکاران (۲۰۱٦)، قبادی و همکاران (۲۰۱۷)، بای و همکاران (۲۰۱۷)، باسارا و همکاران (۲۰۱۸)، مولودی و همکاران (۱۳۹۵)، باعقیده و علیمرادی (۱۳۹۸) و شجاعی‌زاده و همکاران (١٤٠٠).

طبق یافته‌های پژوهش حاضر، جزیره حرارتی شهری حتی در شرایط نبود موج گرمایی در مرکز شهر اردبیل وجود داشته و با رخداد موج گرمایی کوتاه‌مدت ۲ روزه نیز تشدید یافته است؛ بنابراین به دلیل اهمیت پارامتر دما و تأثیر افزایش دمای حاصل از امواج گرمایی و جزایر حرارتی در حیات موجودات زنده به‌ویژه انسان، در راستای تعدیل دما در مرکز این شهر، ذکر چند پیشنهاد ضروری به نظر می‌رسد. ازجمله:

-مطالعه رابطه موج گرمایی و گرمایش شهری در سایر نقاط سردسیر کشور؛

-در نظر گرفتن جهت باد در ساخت‌وسازهای شهری به‌منظور تخلیه حرارتی بین ساختمان‌ها؛

-کشت گونه‌های گیاهی مقاوم در برابر نوسانات دمایی؛

-هشدارهای به‌موقع توسط سازمان‌های ذی‌ربط در زمـان وقـوع مـوج گرمـایی بـه‌منظـور جلوگیری از گرمازدگی ساکنان؛

-با توجه به اینکه طی دوره موردمطالعه، امواج گرمایی در ماه‌های مارس و آوریل (اواخـر زمستان و اوایل بهار) فراوانی بیشتری داشت و با در نظر گرفتن اینکه شـهر اردبیـل اغلـب بـا سرمای دیررس بهاره مواجه است، وقوع موج گرمایی در اوایـل بهـار و تـداوم چنـدروزه آن می‌تواند سبب شکوفه‌دهی درختان و جوانه‌زنی محصـولات زراعـی شـود کـه بـا ورود مـوج گرمایی به منطقه، دچار سرمازدگی شود و خسارات فراوان اقتصـادی بـه دنبـال داشـته باشـد؛ بنابراین ارائه آموزش و توصیه‌های لازم توسط متخصصان امر، به کشاورزان و باغداران الزامی است.

تشکر و قدردانی

با سپاس از همکاری سازمان هواشناسی کشور، مقاله حاضـر مسـتخرج از رسـاله دکتـری است.

کتابنامه

۱. اسمعیل‌نژاد، م.، خسروی، م.، علیجانی، ب.، مسعودیان.، و س. ا (۱۳۹۲). شناسایی امـواج گرمـایی ایران. *جغرافیا و توسعه*، *۱۱*(۳۳)، ٥٤ – ۳۹.
۲. خورشید دوست، ع م.، زنگنه‌ی شهرکی، س.، زارعی، ی.، محمودی، س. (۱۳۹٦). تحلیل همدیدی مخاطره امواج گرما در شمال غرب ایران. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱٤ -۱.
۳. شجاعی زاده، ک.، خالدی، ش.، و اکبری ایرانی، ط (۱٤۰۰). واکاوی ارتباط امواج گرمایی با جزایر حرارتی شهر (مطالعه موردی: شهرستان آبادان). *فصـلنامه جغرافیـا و مخـاطرات محیطـی*، *۱۰*(٤)، ۱۹۳-۲۰۷.
٤. عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. تهران: *نشر قومس*، چاپ اول.
۵. کاشکی، ع.، کرمی، م.، باعقیده، م.، و علیمرادی، م. ر. (۱۳۹۸). واکاوی آماری امواج گرمایی زابـل. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*، *۱*(۳)، ۵۵-٤۰.

۶. کرم‌پور، م.، رفیعی، ج.، جعفری، ا. (۱۳۹٦). شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان، کرمانشاه). *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، ۲٦۳-۲۷۹.

۷. مجرد، ف.، معصوم‌پور، ج.، رستمی، ط. (۱۳۹٤). تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ٤۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات طبیعی*، ۱٤-۱.

۸. مجرد، ف.، ناصریه، م.، و هاشمی، س (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *فیزیک زمین و فضا*، *٤٤*(۲)، ٤۹٤ - ٤۷۹.

۹. مسعودیان، س.ا.، و ترکی، م. (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلانشهر اهواز با کمک از داده‌های مودیس. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، *۱*، ۹۲-۷۵.

۱۰. مسعودیان، س ا.، م. دارند، ۱۳۹۰. تحلیل همدید سرماهای فرین ایران. *جغرافیا و توسعه*، *۲۲*، ۱۸۵-۱٦٥.

۱۱. منصوری، ا.، ب. امین نژاد و ح. احمدی، ۱۳۹۷. بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد کارون براساس گزارشات چهارم و پنجم IPCC. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. ۲۲(۲)، ۳٥۹-۳٤٥.

۱۲. مولودی، گ.، خورانی، ا.، م.، عباس. (۱۳۹٤). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج‌فارس. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۱)، ۱٤ -۱.

۱۳. هوشیار، م.، ب. سبحانی، و س ا. حسینی، ۱۳۹۷. چشم انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2 . *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۲(٦۳)، ۳۲٥-۳۰٥.

14. Ahmadnezhad, E., Holakouie, K.,Ardalan, A.,Mahmoudi, M. Younesian, M.Nddafi, K.andMesdaghinia, A., 2013. Excess Mortality during Heat Waves,Tehran, Iran:An Ecological Time-Series Study. *Journal Punlmed*, *13*(1), 24-31.

15. A.Añel, J., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X., & de la Torre. L. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere, 10*, 1-13.

16. Almusaed, A. (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. *Biophilic and Bioclimatic Architecture*, *21*, 139-150.

17. Bai, L., Gangqiang, D., Shaohua, G., Peng, B., Buda, S., Dahe, Q., Ramamurthy, P., & Bou-Zeid, E. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of geophysical research Atomospheres an AGU JOURNAL*, *122*,168-178.
18. Basara, J., Basara, H., Bradley, I., & Kenneth, C. (2018). The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*, *7*, 1-10.
19. De Ridder, K., Maiheu, B., Lauwaet, D., Daglis, I A., Keramitsoglou, I., Kourtidis, K., Manunta, P., & - Paganini, M. (2016). Urban Heat Island Intensification during Hot Spells-The Case of Paris during the summer of 2003. *Urbanscience*, *1*, 1-11.
20. Dobrovolny, P., & Krahula, L. (2015). The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic, *Moravian Geographical Reports*, *23*, 8-16.
21. Feng, C., Xuchao, Y., & Weiping Z. (2014). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric Research*, *138*, 364–377.
22. Feron- Sarah, R., Cordero, R., Alessdro- Damiani, P., Llanillo, J., Jorquera, J., Sepulveda, E., Asencio, V., Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., & torres, G. (2019). Observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific Reportst*, *9*, 1-15.
23. Founda, D., & Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012), *Scientific Reports*, *7*, 1-16.
24. Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., & Nakamigawa, H. (2007). Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, papers in Meterology and Geophysics, IPCC, *85*, 63-70.
25. Ghobadi, A., Khosravi, M., & Tavousi T. (2017). Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. Urban Climate, *10*, 1-16.
26. Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran, Sustainable Cities and Society, *23*, 94-104.
27. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., & King, L. (2015), Heat Wave Events over Georgia since 1961: Climatology, Changes and Severity, *Climate*, *3*(2), 308-328
28. Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2017). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *21*, 1-8.
29. Kim YH, Baik JJ. 2005. Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44, 591-605.
30. Landsberg, H. E. 1981. The urban climate. USA: International Geophysics Series v: 28.

31. Lazzarini, M., Marpu, PR., & Ghedira, H. (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, *130*, 136-152.
32. Lemonsu, A., Viguié, V., Daniel, M., Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, *14*, 586–605.
33. Paravantis, J., Santamouris, M., Constantinos, C., Efthymiou, C., & Kontoulis N. (2017). Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heatwaves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, *Sustainability*, *606*, 2-22.
34. Ramamurthy, P., & Bou-Zeid, E. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *1*, 168-178.
35. Rohini, P., Pajeevan, m., & Mukhopahay, P. (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, (53), 975–988.
36. Weihe, Z., Shuang, Ji., Tsun-Hsuan, Ch., Hou, Y., & Zhang, K. (2014). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research*, *135*, 81–87.
37. Weng, Q., Rajasekar, U., & Hu, X. (2011). Modeling urban heat islands and their relationship with impervious surface and vegetation abundance by using ASTER images.*Geoscience and Remote Sensing*, *49*(10),4080-4089.
38. Wilks, D.S. (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, *Cornell University*, USA 648.
39. Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Ridder, D., Kropp, K., & D- Rybski, J. (2016). Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *55*, 493-505.